

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЭВРИСТИК ПРИ ВСТРАИВАНИИ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

© М. С. Александров¹, И. А. Каширин¹, А. С. Мельман¹

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF MODERN METAHEURISTICS FOR EMBEDDING OF INFORMATION INTO DIGITAL IMAGES

© M. S. Aleksandrov¹, I. A. Kashirin¹, A. S. Melman¹

¹National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Встраивание информации в цифровые изображения – это актуальная задача в области кибербезопасности. Для достижения баланса между основными показателями эффективности встраивания, такими как незаметность и ёмкость, широко применяются методы метаэвристической оптимизации. Большинство авторов использует классические алгоритмы, такие как генетический алгоритм или алгоритм дифференциальной эволюции (DE). Однако существует множество новых метаэвристик, чья эффективность в контексте задач встраивания ещё не была оценена. В работе проведено исследование эффективности метаэвристик последних лет для встраивания информации в изображения.

Рассмотрен подход ко встраиванию информации в гибридную пространственно-частотную область изображений на основе метода модуляции индекса квантования (QIM), представленный в [1]. Встраивание происходит в пространственной области изображений путём сложения значений пикселей с элементами целочисленной матрицы изменений, а извлечение происходит в области дискретного косинусного преобразования (ДКП) по методу QIM. Особенностью подхода является безошибочное извлечение встроенной информации.

Матрица изменений должна обеспечивать наименьшие искажения в блоке изображения и безошибочное извлечение встроенной информации. Вместо полного перебора всех возможных вариантов матриц изменений применяется метаэвристическая оптимизация, которая обеспечивает баланс между эффективностью встраивания и вычислительной сложностью. Для исследования используется следующий набор метаэвристик: алгоритм синус-косинус (SCA) [2], алгоритм роя сальп (SSA) [3], алгоритм оптимизации китов (WOA) [4], алгоритм оптимизации Архимеда (AOA) [5], алгоритм преподавания-обучения (TLBO) [6], алгоритм конкуренции империалистов (ICA) [7]. Для сравнения также рассматривался классический алгоритм DE, показавший высокую эффективность в работе [1].

Были проведены эксперименты, направленные на оценку эффективности данного выше набора метаэвристик для поиска подходящей матрицы изменений в гибридной области изображений. Для экспериментов использовались 8 изображений размером 512×512 в градациях серого. Для всех метаэвристик использовались одинаковые параметры: количество особей в популяции – 128, количество эпох – 128. Были подсчитаны значения стандартных метрик незаметности PSNR и SSIM и значения ёмкости встраивания в битах на пиксель.

Средние значения метрик представлены в Таблице 1. Как следует из результатов экспериментов, алгоритмы SCA, DE, TLBO и WOA показали лучшие значения метрик незаметности PSNR и SSIM. При этом стоит отметить, что порогом незаметности встраивания считается значение 35 дБ, которое не было достигнуто с помощью метаэвристики AOA. С точки зрения ёмкости лучшую эффективность показали SCA, DE и WOA.

Таким образом, для решаемой задачи наиболее эффективными оказались метаэвристики SCA, DE и WOA. DE – это классический, хорошо известный алгоритм, в то время как WOA и SCA – современные алгоритмы 2019 и 2020 года соответственно. Такой результат

говорит о том, что исследование эффективности применения современных метаэвристик в задачах встраивания информации в изображения является перспективным направлением.

Таблица 1 – Значения метрик для гибридной области встраивания

Table 1 – Metric values for hybrid embedding region

| Алгоритм | SCA | TLBO | DE | AOA | ICA | SSA | WOA |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PSNR, дБ ↑ | 38,6704 | 38,0161 | 38,4010 | 34,9328 | 36,5510 | 36,0100 | 38,0994 |
| SSIM ↑ | 0,9994 | 0,9993 | 0,9993 | 0,9988 | 0,9991 | 0,9990 | 0,9993 |
| Ёмкость, бит/пикс ↑ | 0,4842 | 0,4345 | 0,4843 | 0,4534 | 0,4202 | 0,4626 | 0,4840 |

Данная работа является результатом исследовательского проекта, реализуемого в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

Библиографический список

1. Мельман А. С., Евсютин О. О. Эффективное и безошибочное сокрытие информации в гибридном домене цифровых изображений с использованием метаэвристической оптимизации // Компьютерные исследования и моделирование. 2023. Т. 15, № 1. С. 197-210.
2. Mirjalili S., Lewis A. SCA: A Sine Cosine Algorithm for solving optimization problems // Applied Soft Computing. 2020. Т. 22, № 3. С. 345-357.
3. Mirjalili S., Gandomi A. H., Mirjalili S. Z., Saremi S., Faris H., Mirjalili S. M. Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems // Advances in Engineering Software. 2021. Т. 31, № 6. С. 1059-1078.
4. Mirjalili S., Lewis A. The Whale Optimization Algorithm // Advances in Engineering Software. 2019. Т. 20, № 4. С. 489-501.
5. Hashim F. A., Hussain K., Houssein E. H., Mabrouk M. S., Al-Atabany W. Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems // Applied Mathematics and Computation. 2022. Т. 39, № 2. С. 213-230.
6. Rao R. V., Savsani V. J., Vakharia D. P. Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems // Computer-Aided Design. 2018. Т. 50, № 1. С. 1-15.
7. Lin J.-L., Tsai Y.-H., Yu C.-Y., Li M.-S. Interaction Enhanced Imperialist Competitive Algorithms // Expert Systems with Applications. 2012. Т. 39, № 12. С. 11234-11250.

Сведения об авторах / Information about authors

1. Александров Михаил Сергеевич, студент, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Мясницкая ул., д. 34, Москва, Россия, msaleksandrov_1@edu.hse.ru / Aleksandrov Mikhail Sergeevich, student, National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitckaya St., 101000, Moscow, Russia msaleksandrov_1@edu.hse.ru.
2. Каширин Иван Алексеевич, студент, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Мясницкая ул., д. 34, Москва, Россия, iakashirin_1@edu.hse.ru / Kashirin Ivan Alekseevich, student, National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitckaya St., 101000, Moscow, Russia, iakashirin_1@edu.hse.ru.
3. Мельман Анна Сергеевна, младший научный сотрудник, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Мясницкая ул., д. 34, Москва, Россия, SPIN-код РИНЦ: 7531-4298, ORCID: 0000-0001-6444-7774, РИНЦ Author ID: 945896, Scopus Author ID: 57219230476, WoS Researcher ID: V-4267-2019, e-mail: amelman@hse.ru. / Anna Sergeevna Melman, Junior Researcher, National Research University Higher School of Economics, 20 Myasnitckaya St., 101000, Moscow, Russia, SPIN RSCI code: 7531-4298, ORCID: 0000-0001-6444-7774, RSCI Author ID: 945896, Scopus Author ID: 57219230476, WoS Researcher ID: V-4267-2019, e-mail: amelman@hse.ru.